

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Juni 2002 (27.06.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/51084 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04L 25/03**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/IB00/02027

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Dezember 2000 (20.12.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **MARCONI COMMUNICATIONS GMBH** [DE/DE]; Gerberstrasse 33, 71522 Backnang (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **HERBIG, Gerhard**, Peter [DE/DE]; Reutenhof - 42/2, 71570 Oppenweiler (DE). **GEBAUER, Thomas** [DE/DE]; Im Reute 36, 71573 Allmersbach im Tal (DE).

(74) Anwalt: **CAMP, Ronald**; Marconi Intellectual Property, Waterhouse Lane, Chelmsford, Essex CM1 2QX (GB).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

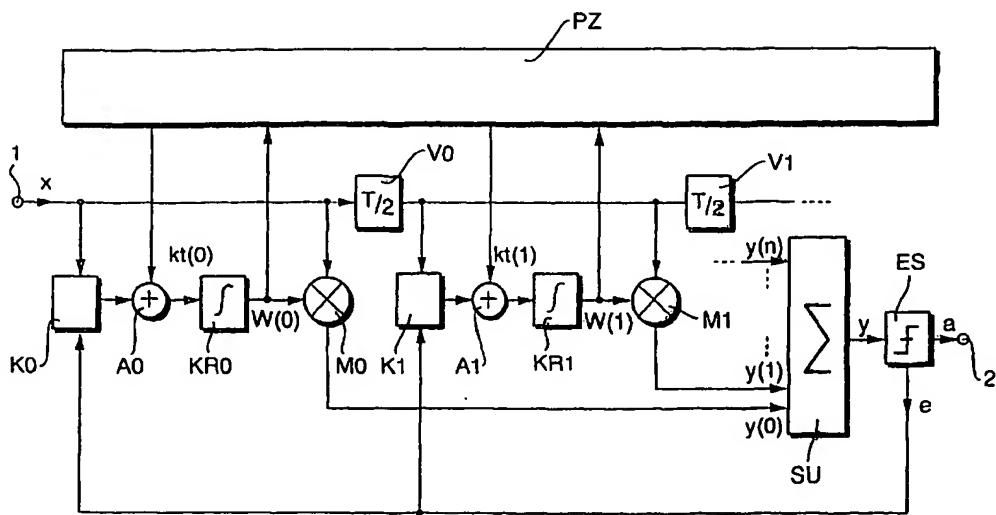
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR ADAPTIVE ADJUSTMENT OF A COEFFICIENT OF AN EQUALISER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ADAPTIVEN EINSTELLUNG DER KOEFFIZIENTEN EINES ENTZERRERS



WO 02/51084 A1



(57) Abstract: The coefficients ($w(0)$, $w(1)$) of an equaliser are adapted according to an error correction algorithm, in such a way that intersymbol interference is minimised. In order to prevent coefficient migration in adaptive equalisation, the coefficients ($w(0)$, $w(1)$) that were determined using the error correction algorithm are modified with a correction term ($k_t(0)$, $k_t(1)$), in such a way that the transfer function of the equaliser adopts a valid value for one or more selected frequencies outside of the useful signal frequency band.

(57) Zusammenfassung: Die Koeffizienten ($w(0)$, $w(1)$) eines Entzerrers werden nach einem Fehlerkorrekturalgorithmus so adaptiert, dass Intersymbolinterferenzen minimal werden. Um ein Koeffizientenwandern bei der adaptiven Entzerrung zu vermeiden, werden die mit Hilfe des Fehlerkorrekturalgorithmus ermittelten Koeffizienten ($w(0)$, $w(1)$) durch einen Korrekturterm ($k_t(0)$, $k_t(1)$) so verändert, dass die Übertragungsfunktion des Entzerrers ausserhalb des Nutzsignalfrequenzbandes für ein oder mehrere ausgewählte Frequenzen einen günstigen Wert annimmt.

PC25684A
APP. NO. 10/828,419 FILED: 04/20/2004



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("*Guidance Notes on Codes and Abbreviations*") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

10 Verfahren zur adaptiven Einstellung der Koeffizienten eines
Entzerrers

15 Stand der Technik

15 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur
adaptiven Einstellung der Koeffizienten eines Entzerrers,
wobei die Koeffizienten nach einem
Fehlerkorrekturalgorithmus so adaptiert werden, daß
20 Intersymbolinterferenzen minimal werden.

25 Wenn Digitalsignale über Kanäle mit zeitvarianten
Kanalverzerrungen übertragen werden sollen, sind im
Empfänger adaptive Entzerrer notwendig, welche sich
automatisch an die Kanalverzerrungen anpassen müssen, um
diese zu kompensieren. Kanalverzerrungen treten
beispielsweise auf Funkübertragungskanälen in Punkt-zu-
Punkt-Richtfunkverbindungen aufgrund von
Mehrwegeausbreitungen auf. Es wird zwischen einfach
30 abgetasteten und überabgetasteten Entzerrern unterschieden.
Bei den einfach abgetasteten Entzerrern (baud-spaced
equalizer) existiert sowohl am Eingang als auch am Ausgang
jedes Symboltaktes genau ein Abtastwert. Da in diesem Fall
die Abtastbedingung schon am Eingang des Entzerrers verletzt
35 wird, sind solche Entzerrer nur begrenzt leistungsfähig.

Wesentlich bessere Ergebnisse erhält man mit einem überabgetasteten Entzerrer (fractionally-spaced equalizer), deren einfachste Ausführung genau zwei Abtastwerte je Symboltakt am Eingang verarbeitet. Auch bei einem 5 überabgetasteten Entzerrer wird am Ausgang immer nur ein Abtastwert je Symboltakt berechnet, weil je Symboltakt auch immer nur ein Sendesymbol zu detektieren ist. Da übliche Fehlerkorrekturalgorithmen zur adaptiven Einstellung der Entzerrer-Koeffizienten nur das einfach abgetastete 10 Ausgangssignal auswerten können, fehlen bei überabgetasteten Entzerrern grundsätzlich wichtige Informationen zur kompletten Kontrolle über alle möglichen Koeffizienten-Einstellungen. Dies hat zur Folge, daß diese Art der Entzerrer zu einem unerwünschten „Koeffizientenwandern“ 15 neigen, das mit den üblichen Algorithmen nicht mehr kontrolliert werden kann. Koeffizientenwandern heißt, daß aufgrund von Rundungsfehlern bei der Berechnung der Koeffizienten sehr langsame Veränderungen der adaptierten Korrekturgrößen für die Koeffizientenwerte in einer Richtung 20 erfolgen. Zur Adaption der Entzerrer-Koeffizienten über abgetastete Entzerrer werden im allgemeinen folgende bekannte Algorithmen verwendet:

Während der Aquisitionsphase, solange der Sendeträger noch 25 nicht erkannt wurde, die Regelschleife zur Trägerphasensynchronisation also noch nicht eingerastet ist, wird in der Regel der Constant Modulus Algorithmus (CMA) und während der Tracking-Phase, also im eigentlichen Dauerbetrieb des Empfängers, der Least Mean Square 30 Algorithmus (LMSA) verwendet. Die beiden genannten Algorithmen sind z.B. in K.D. Kammeyer, Nachrichtenübertragung, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1992, S. 313-316, 510-512 und in J.G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, 1989, S. 561-569, 587-593 35 beschrieben.

Das Koeffizientenwandern wird insbesondere beim CMA-Algorithmus als Folge von Quantisierungsfehlern beobachtet, da es gerade beim CMA-Algorithmus, der ein Algorithmus höherer Ordnung ist, schwierig ist, Offset-Fehler als Folge von Quantisierungsoperationen ganz zu vermeiden. Beim LMSA-Algorithmus führt die fehlende Kontrollfähigkeit besonders bei dynamischen Übertragungskanälen zu einer mangelhaften Adaption der Entzerrer-Koeffizienten an die Kanalveränderungen. Vor allem Kanäle mit Mehrwege-Empfang, wie man sie bei Punkt-zu-Punkt-Richtfunkverbindungen kennt, führen schon bei minderschweren Verzerrungen zu Ausfällen des Entzerrers, obwohl er von seiner prinzipiellen Leistungsfähigkeit durchaus in der Lage wäre, diese Kanäle zu entzerren.

Eine Gegenmaßnahme gegen das Phänomen des Koeffizientenwanderns bei einem überabgetasteten Entzerrer bildet der Tap-Leakage Algorithmus (TLA) der eine Variante des LMSA-Algorithmus ist. Der Tap-Leakage Algorithmus ist beschrieben bei R. D. Giltin, H. C. Meadors, S. B. Weinstein: The Tap-Leakage Algorithm: An Algorithm for the Stable Operation of a Digitally Implemented, Fractionally Spaced Adaptive Equalizer, BSDJ Nr. 8, VOL. 61, Oktober 1982, Seite 1817 bis 1839. Gemäß dem TLA-Algorithmus werden vom Betrag der Koeffizienten kleinere Beträge abgezogen, um das Koeffizientenwandern rückgängig zu machen. Durch diese Maßnahme wird aber nicht nur das Koeffizientenwandern vermieden, sondern sie führt auch zu einer Verschlechterung des Entzerrungsergebnisses, d. h. die Intersymbolinterferenzen nehmen wieder zu.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem das

Koeffizientenwandern verhindert werden kann, ohne die Entzerrungsqualität zu verschlechtern.

5 Vorteile der Erfindung

Die genannte Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 dadurch gelöst, daß die mit Hilfe des Fehlerkorrekturalgorithmus ermittelten Koeffizienten durch 10 einen Korrekturterm so verändert werden, daß die Übertragungsfunktion des Entzerrers außerhalb des Nutzsignalfrequenzbandes für ein oder mehrere ausgewählte Frequenzen einen unverändert festen Wert annimmt. Anstelle der Übertragungsfunktion selbst kann auch eine erste 15 und/oder eine höhere Ableitung der Übertragungsfunktion außerhalb des Nutzsignalfrequenzbandes für ein oder mehrere ausgewählte Frequenzen auf einen festen Wert gesetzt werden. Mit diesem Verfahren werden Überhöhungen der Übertragungsfunktion des Entzerrers zu beiden Seiten des 20 Nutzsignalfrequenzbandes, welche auf das unerwünschte Koeffizientenwandern zurückzuführen sind, weitgehend reduziert. Damit wird verhindert, daß dynamische Fading-Ereignisse auf der Übertragungsstrecke zum Ausfall des Entzerrers führen, wenn z. B. eine bestimmte Koeffizienten- 25 Einstellung nicht mehr schnell genug adaptiert werden kann.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor. So ist eine möglichst einfache Berechnung von Korrekturtermen für die Koeffizienten 30 möglich, wenn die Übertragungsfunktion oder die erste und/oder eine höhere Ableitung der Übertragungsfunktion bei der Frequenz $2\pi/T$ und/oder der Frequenz $3\pi/T$ und/oder der Frequenz $4\pi/3T$ auf einen festen Wert gesetzt wird, wobei π/T die Eckfrequenz des Nutzsignalfrequenzbandes ist. Die 35 Übertragungsfunktion oder eine erste und/oder höhere

Ableitung von ihr kann bei der (den) ausgewählten Frequenz(en) auf den Wert 0 oder einen anderen festen Wert gesetzt werden.

5

Zeichnung

Die Erfindung wird nun anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

10

Figur 1 ein Schaltbild eines adaptiven Entzerrers,

Figur 2 eine Übertragungsfunktion des Entzerrers ohne die erfindungsgemäße Korrektur,

Figur 3 eine Übertragungsfunktion des Entzerrers mit einer ersten Korrektur und

15

Figur 4 eine Übertragungsfunktion des Entzerrers mit einer zweiten Korrektur.

Beschreibung eines Ausführungsbeispiels

20

Der in der Figur 1 dargestellte adaptive Transversal-Entzerrer besitzt eine Verzögerungskette, von der die ersten beiden Verzögerungsglieder V0 und V1 zu sehen sind. Am Eingang 1 der Verzögerungskette liegt ein digitales Eingangssignal x an, das auf der Übertragungsstrecke von einem Sender zum Empfänger, in dem sich der adaptive Entzerrer befindet, verzerrt worden ist. In den einzelnen Verzögerungsgliedern V0, V1 wird das Eingangssignal x jeweils um T/2 verzögert, wobei T der Symboltakt des Eingangssignals x ist. Aus der Verzögerungskette werden vor den einzelnen Verzögerungsgliedern die Symbole des verzerrten Eingangssignals x abgegriffen und jeweils einem Multiplizierer M0, M1 zugeführt, in dem das Symbol mit einem Koeffizienten w(0), w(1) gewichtet wird. Alle auf diese Weise im Entzerrer gebildeten mit den Koeffizienten w(0),

w(1), ... w(n) gewichteten Signalsymbole y(0), y(1), ... y(n) werden von einem Summierer zu einem Ausgangssignal y zusammengefaßt. Das Ausgangssignal y wird einem Entscheider ES zugeführt, der für jedes Symbol des Ausgangssignals y entscheidet, welchem der möglichen Sendesymbole es am nächsten kommt, d.h. der Entscheider ES schätzt aufgrund der Symbole des Summierer-Ausgangssignals y die am warscheinlichsten gesendeten Sendesymbole. Am Ausgang 2 des Entscheiders ES sind also die geschätzten Sendesymbole a abgreifbar. Außerdem erzeugt der Entscheider ES auch ein Fehlersignal e, das von der Ablage zwischen dem jeweiligen Symbol des Summierer-Ausgangssignals y und dem geschätzten Sendesymbol a abhängt.

Das Fehlersignal e wird Korrelatoren K0, K1 zugeführt, welche für die Bildung der Koeffizienten w(0), w(1) zuständig sind. Und zwar bestimmen die Korrelatoren K0, K1 nach einem bekannten Fehlerkorrekturalgorithmus, z. B. nach dem eingangs bereits erwähnten LMSA-Algorithmus, aus dem Fehlersignal e und den aus der Verzögerungskette abgegriffenen Symbolen des verzerrten Eingangssignal x adaptive Änderungswerte für die Koeffizienten w(0), w(1). Im Anschluß an jeden Korrelator K0, K1 folgt ein Addierer A0, A1, in dem zu dem vom Korrelator K0, K1 ausgegebenen Änderungswert für den Koeffizienten w(0), w(1) ein Korrekturterm kt(0), kt(1) addiert wird. Die Korrekturterme kt(0), kt(1) werden in einem Prozessor (PZ) nach einem weiter unten noch näher beschriebenen Algorithmus gebildet. Diese Korrekturterme kt(0), kt(1) zielen darauf ab, das eingangs erwähnte „Koeffizientenwandern“ zu vermeiden.

Auf die einzelnen Addierer A0, A1 folgt jeweils ein Koeffizientenregister KR0, KR1, in dem über alle Änderungswerte, einschließlich der Korrekturterme für den

Koeffizienten $w(0)$, $w(1)$ integriert wird, woraus dann der jeweils aktuelle Koeffizient $w(0)$, $w(1)$ entsteht.

In der Figur 1 ist ein adaptiver Entzerrer für ein reelles
5 digitales Eingangssignal x dargestellt. In einem digitalen
Richtfunksystem werden aber in der Regel QAM-Signale
ausgesendet. Dementsprechend müßten für einen QAM-Empfänger
vier derartige adaptive Entzerrer vorgesehen werden, nämlich
10 einer im Inphase-Zweig, einer im Quadraturphase-Zweig und
zur Kompensation von Übersprechen ein adaptiver Entzerrer,
der vom Inphase-Zweig auf den Quadraturphase-Zweig und einer
der vom Quadraturphase-Zweig auf den Inphase-Zweig
geschaltet ist.

15 Im folgenden wird erläutert, wie der Prozessor PZ die
Korrekturterme $kt(k)$ mit $k = 0, 1, \dots, n$ erzeugt. Wie
bereits gesagt, soll durch die Korrekturterme $kt(k)$ für die
Koeffizienten $w(k)$ das sogenannte Koeffizientenwandern
unterbunden werden. In der Figur 2 ist eine
20 Übertragungsfunktion $E(\omega)$ eines Entzerrers dargestellt,
wobei das Nutzsignal frequenzband seine Eckfrequenzen bei ω
= $\pm\pi/T$ hat, der Entzerrer aber das Spektrum im Bereich von
 $\omega = -2\pi/T$ bis $\omega = +2\pi/T$ beeinflussen kann. Das unerwünschte
Koeffizientenwandern macht sich durch eine Verstärkung der
25 vom Nutzsignal nicht genutzten Spektralbereiche erkennbar,
die in der Figur 2 grau unterlegt sind. Der Korrekturterm
 $kt(k)$ beeinflußt direkt die Übertragungsfunktion des
Entzerrers, so daß die Überhöhungen außerhalb des
Nutzsignal frequenzbandes reduziert werden, und dadurch kein
30 Koeffizientenwandern mehr auftritt. Gleichzeitig bleibt aber
die Übertragungsfunktion innerhalb des
Nutzsignal frequenzbandes davon vollständig unberührt, so daß
die eigentliche Entzerrung nicht beeinträchtigt wird.

35 Für die Übertragungsfunktion $E(\omega)$ des Entzerrers gilt:

$$\begin{aligned}
 E(\omega) &= \sum (w_i(k) + jw_q(k)) e^{-j\omega k T/2} \\
 &= E_i(\omega) + jE_q(\omega) \\
 &= \sum w_i(k) \cos \omega k \frac{T}{2} + \sum w_q(k) \sin \omega k \frac{T}{2} \\
 5 &\quad + j(-\sum w_i(k) \sin \omega k \frac{T}{2} + \sum w_q(k) \cos \omega k \frac{T}{2}) \tag{1}
 \end{aligned}$$

Hierbei sind $w_i(k)$ und $w_q(k)$ der k -te Inphase- und Quadraturphase-Koeffizient.

0 Die Summierung \sum erstreckt sich über alle Koeffizienten von $k = 0$ bis $k = n$. Der im Prozessor PZ ablaufende Algorithmus soll, um die Übertragungsfunktion außerhalb des Nutzfrequenzbandes zu reduzieren, bei mindestens einer bestimmten Frequenz $\omega_0 > \pm\pi/T$ eine Nullstelle oder einen 15 anderen festen Wert der Übertragungsfunktion bilden. Als Zielfunktion des Algorithmus erhält man somit:

$$|E(\omega_0)| = |E_i(\omega_0)|^2 + |E_q(\omega_0)|^2 \tag{2}$$

20 Da bei einem komplexen Entzerrer für QAM-Signale alle zugehörigen vier Teil-Entzerrer voneinander unabhängig in ihrer Übertragungsfunktion im obengenannten Sinne einzustellen sind, kann die Unterscheidung zwischen w_i und w_q für den Inphase-Zweig und den Quadraturphase-Zweig 25 entfallen. Somit ergibt sich für den Betrag der Übertragungsfunktion:

$$|E(\omega_0)|^2 = \left| \sum w(k) \cos \omega_0 k \frac{T}{2} \right|^2 + \left| \sum w(k) \sin \omega_0 k \frac{T}{2} \right|^2 \tag{3}$$

30 und für ihren Gradienten:

$$\frac{\partial}{\partial w(k)} |E(\omega_0)|^2 = 2|E_i(\omega_0)| \frac{\partial |E_i(\omega_0)|}{\partial w(k)} + 2|E_q(\omega_0)| \frac{\partial |E_q(\omega_0)|}{\partial w(k)}$$

$$(4)$$

$$= 2 \cos \omega_0 k \frac{T}{2} \sum w(k) \cos \omega_0 k \frac{T}{2} + 2 \sin \omega_0 k \frac{T}{2} \sum w(k) \sin \omega_0 k \frac{T}{2}$$

Der Algorithmus zur Korrektur der Koeffizienten $w(k)$ wird
5 dann folgendermaßen gebildet:

$$w_{n+1}(k) = w_n(k) - \alpha \cdot sign[J(k)] \quad (5)$$

10 $w_n(k)$ ist der einen Zeittakt zuvor gebildete Koeffizient,
und $w_{n+1}(k)$ ist der aktuelle durch Addition des
Korrekturterms $k\tau(k) = -\alpha \cdot sign[J(k)]$ zum Koeffizienten $w_n(k)$
hervorgehende Koeffizient. Übrigens ist der
Übersichtlichkeit halber in der Gleichung (5) nicht der in
den Korrelatoren K_0 , K_1 nach z.B. dem bekannten CMA- oder
15 LMSA-Algorithmus gebildete Änderungswert für den
Koeffizienten $w_n(k)$ berücksichtigt.

In Gleichung (5) ist

$$20 \quad J(k) = \frac{\partial}{\partial w(k)} |E(\omega_0)|^2$$

$$J(k) = W_c \cdot \cos \omega_0 k \frac{T}{2} + W_s \cdot \sin \omega_0 k \frac{T}{2} \quad (6)$$

Hierbei wurden die Abkürzungen

25

$$W_c = \sum w(k) \cos \omega_0 k \frac{T}{2} \quad (7)$$

$$W_s = \sum w(k) \sin \omega_0 k \frac{T}{2}$$

30

benutzt. Da nur eine sehr geringfügige Beeinflussung der
Koeffizienten erwünscht ist (kleines α), kann der

Algorithmus im praktischen Betrieb zu einer Signumform vereinfacht werden. Der Wirksamkeitsfaktor α für den Korrekturterm $k\tau(k)$ wird durch Feldsimulation auf einen geeigneten Wert eingestellt.

5

Der Algorithmus soll ohne großen Aufwand realisierbar sein. Man muß sich deshalb auf solche Frequenzen ω_0 beschränken, welche eine einfache und möglichst periodische Berechnung der trigonometrischen Funktionen erlauben. Folgende

10 Frequenzen kommen dafür in Frage:

$$\omega_A = \frac{2\pi}{T}, \quad \omega_B = \frac{3\pi}{2T} \quad \text{und} \quad \omega_C = \frac{4\pi}{3T}. \quad (8)$$

15 Die beiden einfachsten Fälle ω_A und ω_C sollen nun behandelt werden.

1. Fall: $\omega_A = \frac{2\pi}{T}$

Für diesen besonders einfachen Fall gilt:

20

$$\sin \omega_A k \frac{T}{2} = \sin k\pi = 0 \quad (9)$$

$$\cos \omega_A k \frac{T}{2} = \cos k\pi = (-1)^k$$

25

und deshalb:

$$\frac{\partial}{\partial w(k)} |E(\omega_A)|^2 = 2(-1)^k \cdot \sum w(k)(-1)^k \quad (10)$$

30 Der komplette Algorithmus zur Adaption der Koeffizienten lautet entsprechend Gleichung (5) also:

- 11 -

$$w_{n+1}(k) = w_n(k) - 2\alpha \cdot \text{sign} \left[(-1)^k \sum w(k)(-1)^k \right] \quad (11)$$

mit

$$J_A = 2(-1)^k \cdot \sum w_n(k)(-1)^k \quad (12)$$

5 Da an den unerwünschten Anteilen in der Übertragungsfunktion vorzugsweise die mittleren Koeffizienten beteiligt sind, kann der Algorithmus nach Gleichung (11) auf ein Intervall in der Größenordnung $k \in [-4, 4]$ beschränkt werden. In Gleichung (12) müssen natürlich alle Koeffizienten .0 berücksichtigt werden.

Das Ergebnis dieses Algorithmus zeigt die Figur 3, bei der erkennbar ist, daß bereits eine gewisse Reduzierung der Übertragungsfunktion außerhalb des Nutzsignalfrequenzbandes 15 im Vergleich zur nicht korrigierten, in Figur 1 dargestellten Übertragungsfunktion eingetreten ist.

$$2. \text{ Fall: } \omega_c = \frac{4\pi}{3T}$$

20 Für diesen Fall gilt:

$$\sin \omega_c k \frac{T}{2} = \sin \frac{2}{3} k\pi = \Im(z^k) \quad (13)$$

$$\cos \omega_c k \frac{T}{2} = \cos \frac{2}{3} k\pi = \Re(z^k)$$

25

$$z = e^{j2\pi/3} = e^{j120^\circ}$$

Mit der Tabelle:

K	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$\sin \frac{2}{3} k\pi$	$-\sqrt{0,75}$	0	$\sqrt{0,75}$	$-\sqrt{0,75}$	0	$\sqrt{0,75}$	$-\sqrt{0,75}$	0	$\sqrt{0,75}$

- 12 -

$\cos \frac{2}{3} k\pi$	-0,5	1	-0,5	-0,5	1	-0,5	-0,5	1	-0,5
-------------------------	------	---	------	------	---	------	------	---	------

gilt:

$$W_c = \sum w(k) \cos \omega_c k \frac{T}{2} = \sum w(3k) - 0,5 \sum [w(3k+1) + w(3k-1)] \quad (14)$$

5

$$W_s = \sum w(k) \sin \omega_c k \frac{T}{2} = \sqrt{0,75} \sum [w(3k+1) - w(3k-1)] \quad (15)$$

Um die Korrekturterme zu berechnen, werden weitere Abkürzungen eingeführt:

10

$$W_{-1} = \sum w(3k-1)$$

$$W_0 = \sum w(3k)$$

15

$$W_{+1} = \sum w(3k+1) \quad (16)$$

$$WD = W_{+1} - W_{-1}$$

$$WS = W_{+1} + W_{-1}$$

20

Damit gilt:

$$J_c(3k-1) = -\sqrt{0,75} \cdot W_s - 0,5 \cdot W_c = \frac{1}{4} (-3WD - 2W_0 + WS)$$

25

$$J_c(3k) = W_c \quad (17)$$

$$J_c(3k+1) = +\sqrt{0,75} \cdot W_s - 0,5 \cdot W_c = \frac{1}{4} (+3WD - 2W_0 + WS)$$

30

Während im 1. Fall J_c gemäß Gleichung (12) für alle Koeffizienten $w(k)$ gilt, muß im 2. Fall J_c für drei

verschiedene Koeffizientengruppen $w(3k-1)$, $w(3k)$ und $w(3k+1)$ unterschieden werden.

5 Eine sehr effiziente Korrektur der Koeffizienten ergibt sich, wenn der 1. Und der 2. Fall miteinander kombiniert werden:

$$w_{n+1}(k) = w_n(k) - \alpha_A \cdot sign[J_A(k)] - \alpha_C \cdot sign[J_C(k)] \quad (18)$$

10 Wie Figur 4 zeigt, bewirkt die adaptive Korrektur der Koeffizienten $w_n(k)$ gemäß Gleichung (18) eine starke Absenkung der Spektralbereiche außerhalb des Nutzsignalspektrums.

15 Anstatt, wie in Figur 3 und 4 dargestellt, durch die Korrektur Nullstellen in der Übertragungsfunktion zu erzwingen, kann die Übertragungsfunktion auch bei bestimmten Frequenzen auf einen konstanten Wert (z.B. 1) eingestellt werden.

20 Anstatt die Übertragungsfunktion der Entzerrers selbst bei bestimmten Frequenzen auf einen konstanten Wert einzustellen, kann auch eine erste und/oder höhere Ableitung der Übertragungsfunktion für eine oder mehrere ausgewählte Frequenzen auf einen konstanten Wert gesetzt werden.
25

5

Ansprüche

1. Verfahren zur adaptiven Einstellung der Koeffizienten
10 eines Entzerrers, wobei die Koeffizienten ($w(0)$, $w(1)$) nach
einem Fehlerkorrekturalgorithmus so definiert werden, daß
die Intersymbolinterferenzen minimal werden, dadurch
gekennzeichnet, daß die mit Hilfe des
Fehlerkorrekturalgorithmus ermittelten Koeffizienten ($w(0)$,
15 $w(1)$) durch einen Korrekturterm ($k(0)$, $k(1)$) so verändert
werden, daß die Übertragungsfunktion ($E(\omega)$) des Entzerrers
oder eine erste und/oder höhere Ableitung der
Übertragungsfunktion außerhalb des Nutzsignalfrequenzbandes
für ein oder mehrere ausgewählte Frequenzen einen
20 unverändert festen Wert annimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
die Koeffizienten ($w(0)$, $w(1)$) so verändert werden, daß die
Übertragungsfunktion ($E(\omega)$) oder eine erste und/oder höhere
25 Ableitung der Übertragungsfunktion bei der Frequenz $2\pi/T$
und/oder der Frequenz $3\pi/T$ und/oder der Frequenz $4\pi/3T$ einen
festen Wert annimmt, wobei π/T die Eckfrequenz des
Nutzsignalfrequenzbandes ist.

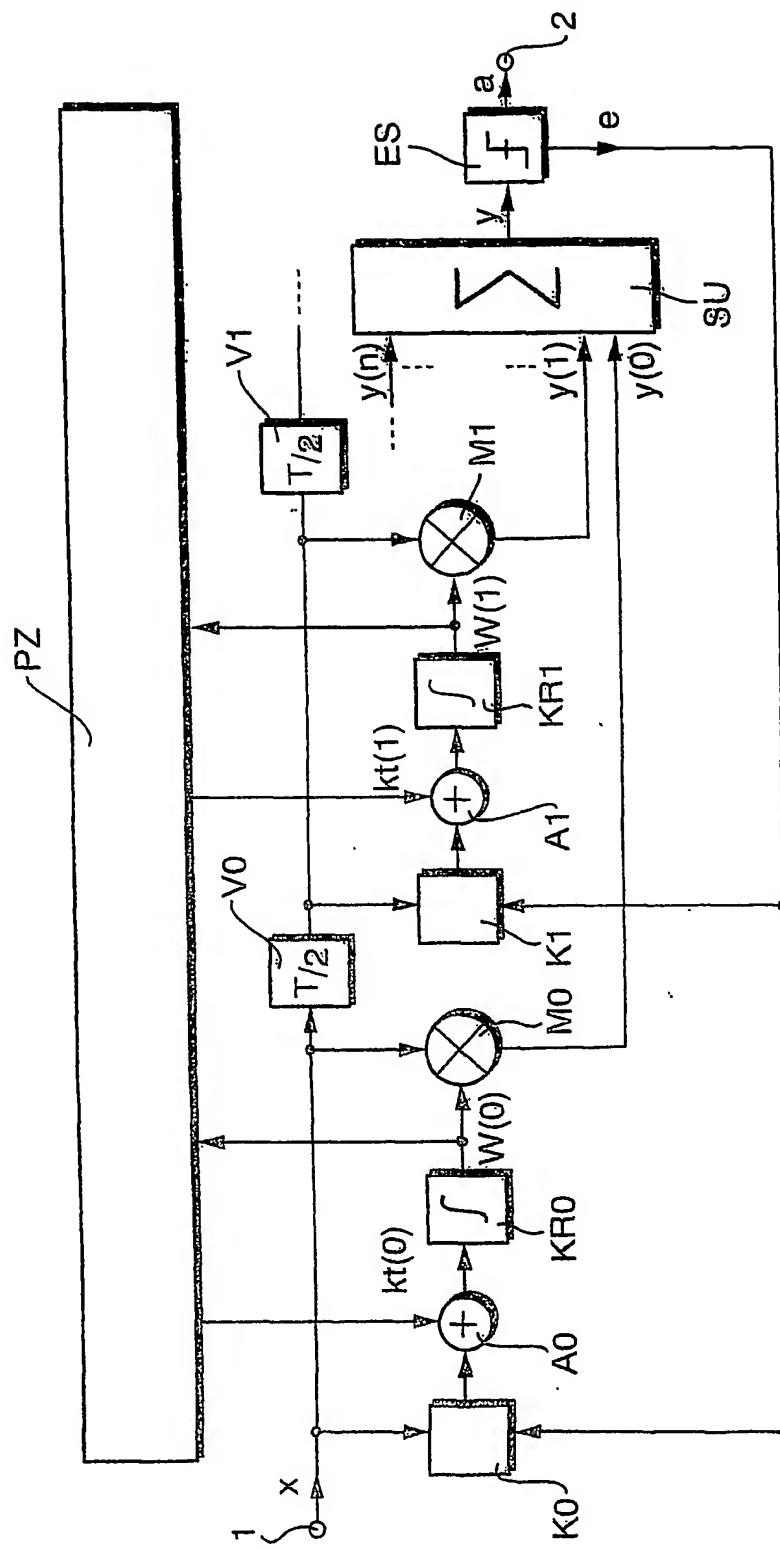
30

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, daß die Übertragungsfunktion ($E(\omega)$) oder
eine erste und/oder höhere Ableitung der
35 Übertragungsfunktion bei der (den) ausgewählten Frequenz(en)

- 15 -

auf den Wert 0 oder einen anderen konstanten Wert gesetzt
wird (werden).

1/2

**Fig. 1**

2/2

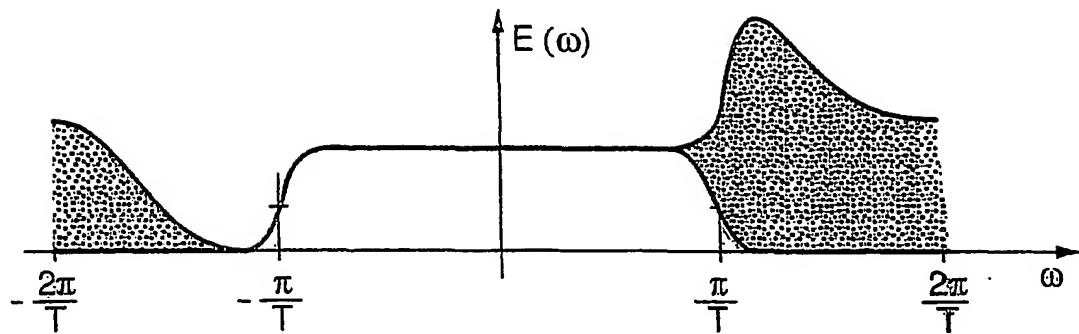


Fig. 2

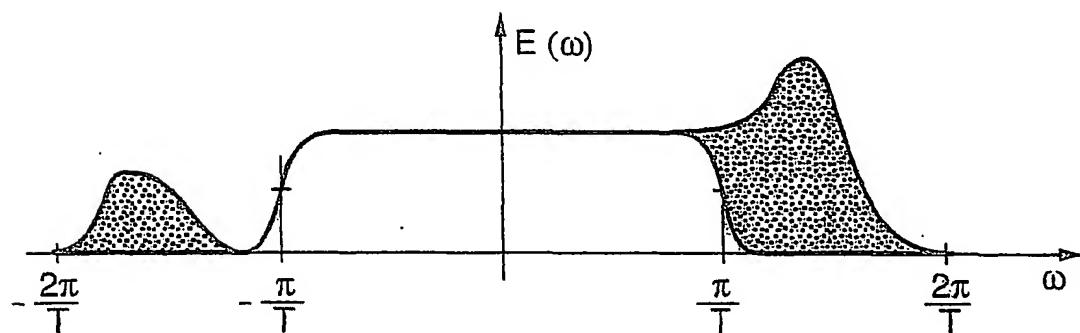


Fig. 3

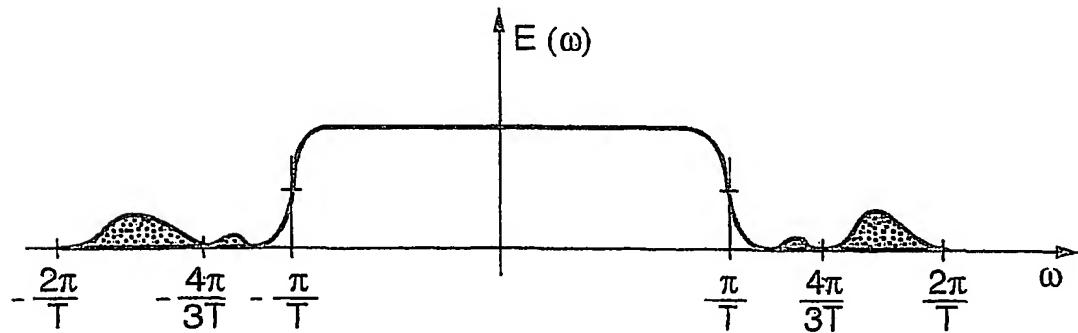


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No
PCT/IB 00/02027

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H04L25/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	WO 01 08364 A (BOSCH GMBH ROBERT ;GEBAUER THOMAS (DE); HERBIG GERHARD (DE)) 1 February 2001 (2001-02-01) the whole document ---	1-3
X	SCHENK H ET AL: "MESSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR DATENUEBERTRAGUNG UEBER FERNSPRECHKANALE MIT HILFE EINES FLEXIBLEN EXPERIMENTIERSYSTEMS. PRACTICAL INVESTIGATIONS OF DATA TRANSMISSION OVER TELEPHONE CHANNELS BY A FLEXIBLE EXPERIMENTAL SYSTEM" FREQUENZ, DE, SCHIELE UND SCHON GMBH. BERLIN, vol. 34, no. 4, April 1980 (1980-04), pages 109-117, XP000763709 ISSN: 0016-1136 page 862, line 18-32 ---	1-3

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the International filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed Invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed Invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

Date of mailing of the International search report

19 July 2001

26/07/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Binger, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/IB 00/02027

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>QURESHI S U H ET AL: "PERFORMANCE AND PROPERTIES OF A T/2 EQUALIZER" NTC. CONFERENCE RECORD, XX, XX, vol. 1, 5 December 1977 (1977-12-05), pages 111-1-111-09, XP000763830 page 4, column 2, line 22 - line 35 page 5, column 1, line 19 - line 37</p> <hr/>	1-3
A	<p>UNGERBOECK G: "FRACTIONAL TAP-SPACING EQUALIZER AND CONSEQUENCES FOR CLOCK RECOVERY IN DATA MODEMS" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, US, IEEE INC. NEW YORK, vol. COM-24, no. 8, August 1976 (1976-08), pages 856-864, XP000758816 ISSN: 0090-6778 page 111, column 2, line 9 - line 30</p> <hr/>	1-3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int'l Application No

PCT/IB 00/02027

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0108364 A	01-02-2001	DE 19934672 A	08-02-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int'l. nationales Aktenzeichen
PCT/IB 00/02027

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H04L25/03

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H04L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
E	WO 01 08364 A (BOSCH GMBH ROBERT ; GEBAUER THOMAS (DE); HERBIG GERHARD (DE)) 1. Februar 2001 (2001-02-01) das ganze Dokument	1-3
X	SCHENK H ET AL: "MESSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR DATENÜBERTRAGUNG UEBER FERNSPRECHKANALE MIT HILFE EINES FLEXIBLEN EXPERIMENTERSYSTEMS. PRACTICAL INVESTIGATIONS OF DATA TRANSMISSION OVER TELEPHONE CHANNELS BY A FLEXIBLE EXPERIMENTAL SYSTEM" FREQUENZ, DE, SCHIELE UND SCHON GMBH. BERLIN, Bd. 34, Nr. 4, April 1980 (1980-04), Seiten 109-117, XP000763709 ISSN: 0016-1136 Seite 862, Zeile 18-32	1-3

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,

eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19. Juli 2001

26/07/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Binger, B

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int	nales Aktenzeichen
PCT/IB 00/02027	

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	QURESHI S U H ET AL: "PERFORMANCE AND PROPERTIES OF A T/2 EQUALIZER" NTC. CONFERENCE RECORD, XX, XX, Bd. 1, 5. Dezember 1977 (1977-12-05), Seiten 111-1-111-09, XP000763830 Seite 4, Spalte 2, Zeile 22 - Zeile 35 Seite 5, Spalte 1, Zeile 19 - Zeile 37 -----	1-3
A	UNGERBOECK G: "FRACTIONAL TAP-SPACING EQUALIZER AND CONSEQUENCES FOR CLOCK RECOVERY IN DATA MODEMS" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, US, IEEE INC. NEW YORK, Bd. COM-24, Nr. 8, August 1976 (1976-08), Seiten 856-864, XP000758816 ISSN: 0090-6778 Seite 111, Spalte 2, Zeile 9 - Zeile 30 -----	1-3

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int'lales Aktenzeichen

PCT/IB 00/02027

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0108364 A	01-02-2001	DE 19934672 A	08-02-2001